

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of:

YONG-BEOM SHIN, ET AL.

For: **active ion-doped waveguide-plasmon resonance
based on upconversion of active ions and imaging
system using the same**

Jc971 U.S. PTO
10/090305
03/04/02

#2
D. Scott
7-1302

Honorable Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

Request for Priority

Sir:

Applicant respectfully requests a convention priority for the above-captioned application, namely
Korean application number 2001-73283 filed November 23, 2001.

☒ A certified copy of the document is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

BLAKELY, SOKOLOFF, TAYLOR & ZAFMAN

Dated: _____

3/4/02

Eric S. Hyman, Reg. No. 30,139

12400 Wilshire Blvd., 7th Floor
Los Angeles, California 90025
Telephone: (310) 207-3800

1c971 U.S. PRO

10/090305



대한민국 특허청

KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

출원 번호 : 특허출원 2001년 제 73283 호
Application Number PATENT-2001-0073283

출원 년 월 일 : 2001년 11월 23일
Date of Application NOV 23, 2001

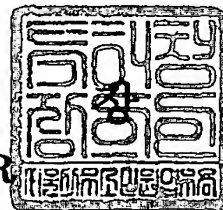
출원 인 : 한국전자통신연구원
Applicant(s) KOREA ELECTRONICS & TELECOMMUNICATIONS RESEARCH IN



2001 년 12 월 24 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0001
【제출일자】	2001.11.23
【국제특허분류】	G01N
【발명의 명칭】	활성이온의 상향전이를 이용한 도파로-플라즈몬 공명 센서 및 이미징 시스템
【발명의 영문명칭】	Waveguide-plasmon resonance sensor using upconversion of active ions and imaging system thereof
【출원인】	
【명칭】	한국전자통신연구원
【출원인코드】	3-1998-007763-8
【대리인】	
【성명】	이영필
【대리인코드】	9-1998-000334-6
【포괄위임등록번호】	2001-038378-6
【대리인】	
【성명】	이해영
【대리인코드】	9-1999-000227-4
【포괄위임등록번호】	2001-038396-8
【발명자】	
【성명의 국문표기】	신용범
【성명의 영문표기】	SHIN, Yong Beom
【주민등록번호】	680102-1047813
【우편번호】	302-120
【주소】	대전광역시 서구 둔산동 1388 한마루아파트 105동 404호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	표현봉
【성명의 영문표기】	PYO, Hyeon Bong
【주민등록번호】	630111-1009617

【우편번호】	305-345
【주소】	대전광역시 유성구 신성동 153 럭키하나아파트 107동 406호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	정지욱
【성명의 영문표기】	JEONG, Ji Wook
【주민등록번호】	691102-1691217
【우편번호】	305-345
【주소】	대전광역시 유성구 신성동 149-302호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	이상경
【성명의 영문표기】	LEE, Sang Kyung
【주민등록번호】	680318-1792038
【우편번호】	305-345
【주소】	대전광역시 유성구 신성동 149-13번지 가람빌라 2동 501호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	신동호
【성명의 영문표기】	SHIN, Dong Ho
【주민등록번호】	690325-1042014
【우편번호】	305-345
【주소】	대전광역시 유성구 신성동 145-17 대룡빌라 304호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김민곤
【성명의 영문표기】	KIM, Min Gon
【주민등록번호】	680325-1897211
【우편번호】	305-345
【주소】	대전광역시 유성구 신성동 두레아파트 107동 1202호
【국적】	KR

【발명자】**【성명의 국문표기】** 박선희**【성명의 영문표기】** PARK, Seon Hee**【주민등록번호】** 580117-2069619**【우편번호】** 302-150**【주소】** 대전광역시 서구 만년동 강변아파트 112동 106호**【국적】** KR**【심사청구】** 청구

【취지】 특허법 제42조의 규정에 의하여 위와 같이 출원합니다. 대리인
 이영필 (인) 대리인
 이해영 (인)

【수수료】**【기본출원료】** 20 면 29,000 원**【가산출원료】** 26 면 26,000 원**【우선권주장료】** 0 건 0 원**【심사청구료】** 55 항 1,869,000 원**【합계】** 1,924,000 원**【감면사유】** 정부출연연구기관**【감면후 수수료】** 962,000 원**【첨부서류】** 1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】**【요약】**

표면 플라즈몬 공명(Surface Plasmon Resonance : SPR)을 이용하여 시료를 분석하는 센서 및 이미징 시스템을 개시한다. 본 발명에서는, 표면 플라즈몬을 제공하는 금속 박막 위에 활성이온(active ion)이 함유된 유전체 박막이 도파로(waveguide)로서 도포된다. 활성이온은 입사광에 의해 여기되어 상향전이(upconversion)함으로써 입사광에 비해 단파장의 형광을 발광한다. 이것이 SPR과 복합됨으로써, 입사광의 입사각 변화에 대한 활성이온의 발광 세기의 변화율이 극대화된다. 따라서, 본 발명에 의하면 종래보다 센서의 감도가 10배 내지 100배 향상되므로, 기존 센서에서 측정 불가능한 정도의 시료 굴절률 변화 또는 극미량의 물질 흡착량 분석이 가능해진다.

【대표도】

도 6

【색인어】

표면 플라즈몬 공명, 도파로, 활성이온, 상향전이

【명세서】**【발명의 명칭】**

활성이온의 상향전이를 이용한 도파로-플라즈몬 공명 센서 및 이미징 시스템
{Waveguide-plasmon resonance sensor using upconversion of active ions and
imaging system thereof}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 표면 플라즈몬 공명(Surface Plasmon Resonance : SPR)을 이용하는
SPR 센서의 일반적인 구조를 나타낸다.

도 2는 시료의 굴절률 변화를 달리하면서 SPR 센서를 이용하여 측정한 반사
율을 입사광의 입사각에 대하여 도시한 그래프이다.

도 3은 도 1의 SPR 센서를 개선한 플라즈몬-도파로 공명(Coupled
Plasmon-Waveguide Resonance : CPWR) 센서의 일반적인 구조를 나타낸다.

도 4는 시료의 굴절률 변화를 달리하면서 CPWR 센서를 이용하여 측정한 반
사율을 입사광의 입사각에 대하여 도시한 그래프이다.

도 5a는 유전체 박막 두께가 서로 다른 CPWR 센서를 이용하여 측정한 반사
율을 입사광의 입사각에 대하여 도시한 그래프이다.

도 5b는 유전체 박막 두께가 서로 다른 CPWR 센서를 이용하여 측정한 흡수
율을 입사광의 입사각에 대하여 도시한 그래프이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 활성이온 첨가 도파로-플라즈몬 공명 (Active Ion-Doped Waveguide-Plasmon Resonance : AID WPR) 센서의 구조를 나타낸다.

도 7은 Tm^{3+} 와 Er^{3+} 의 에너지 준위 및 상향전이 기구를 나타내는 도면이다.

도 8a는 시료의 굴절률 변화를 달리하면서 도 6의 AID WPR 센서를 이용하여 측정한 Tm^{3+} 의 350 nm 상향전이 형광 세기를 입사광의 입사각에 대하여 도시한 그래프이다.

도 8b는 도 8a의 일부분을 확대한 도면이다.

도 8c는 도 8b에서 입사광의 입사각이 61.5245° 인 경우를 나타낸 그래프이다.

도 9a는 시료의 굴절률 변화를 달리하면서 도 6의 AID WPR 센서를 이용하여 측정한 Er^{3+} 의 550 nm 상향전이 형광 세기를 입사광의 입사각에 대하여 도시한 그래프이다.

도 9b는 도 9a의 일부분을 확대한 도면이다.

도 9c는 도 9b에서 입사광의 입사각이 61.5511° 인 경우를 나타낸 그래프이다.

도 10은 본 발명의 실시예에 따른 AID WPR을 이용한 이미징 시스템의 구조를 나타낸다.

<도면의 주요부분에 대한 부호설명>

110 : 유전매체, 122 : 도체 박막,

123 : 시료, 130 : 광원,
139 : 형광, 140 : 수광부,
170 : 유전체 박막, 171 : 활성이온

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <21> 본 발명은 시료 분석에 이용되는 센서 및 이러한 센서의 응용분야에 관한 것으로, 특히 표면 플라즈몬 공명을 이용하는 센서 및 이 센서의 원리를 이용한 이미징 시스템에 관한 것이다.
- <22> 표면 플라즈몬(Surface Plasmon)이란 도체 표면, 이를테면 금속 박막의 표면을 따라서 전파하는 자유전자의 양자화된 진동이다. 이와 같은 표면 플라즈몬은, 프리즘과 같은 유전매체(Dielectric medium)를 지나 유전매체의 임계각 이상의 각도로 금속 박막에 입사하는 입사광에 의해 여기되어 공명을 일으킨다. 이를 표면 플라즈몬 공명(Surface Plasmon Resonance : 이하 SPR)이라 한다. SPR이 일어나는 입사광의 입사각, 즉 공명각은 금속 박막에 근접한 물질의 굴절을 변화에 매우 민감하다. SPR 센서는 이러한 성질을 이용하여 금속 박막에 근접한 물질 즉, 시료의 굴절을 변화로부터 시료의 정량 분석 및 정성 분석과, 박막인 시료의 두께를 측정하는 데에 이용된다.
- <23> 도 1은 SPR 센서의 일반적인 구조, 이른바 Kretschmann형 SPR 센서를 나타낸다.

<24> 도 1을 참조하면, SPR 센서는 기본적으로 유전매체(10)와 SPR을 일으키는 금속 박막(22)으로 이루어진 유닛(U)을 포함한다. 유전매체(10)는 통상 BK7, SF10과 같은 투명한 유리 재질의 반원형 또는 삼각형 프리즘이 이용된다. 금속 박막(22)은 그 두께가 통상 40 내지 50 nm이며 재질은 금 또는 은이다. 이러한 유닛(U)은 고정축을 중심으로 회전 가능한 회전판(50)에 의해 지지되며, 표면 플라즈몬 장(surface plasmon field) 내에서의 굴절률 변화의 측정 대상이 되는 시료(23)는 유닛(U)의 금속 박막(22)에 부착된다.

<25> 참조부호 30과 40은 각각 금속 박막(22) 측으로 입사광(31)을 발사하는 고정되어 있는 광원(light source)과, 금속 박막(22) 표면으로부터 반사된 반사광(39)의 세기를 측정하는 수광부(Photodetector)이다. 광원(30)으로는 단색광의 레이저, 발광다이오드(light emitting diode, LED), 또는 다중파장대역의 백색광 및 LED 등이 사용된다.

<26> 입사광(31) 중 금속 박막(22) 표면에 평행한 성분의 파동 벡터(wave vector)와 표면 플라즈몬의 파동 벡터가 일치할 때 SPR이 일어나므로, 유전매체(10)의 굴절률을 n , 공명각을 θ_{re} , 금속 박막(22) 및 시료(23)의 유전율을 각각 ϵ_1 , ϵ_2 라 할 때 다음과 같은 수학적 식 1이 성립된다.

<27>

$$n \sin \theta_{re} = \sqrt{\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}}$$

【수학적 식 1】

<28> 따라서 공명각 θ_{re} 만 알면 수학적 식 1로부터 시료(23)의 유전율 ϵ_2 를 구할 수 있게 되고, 이로부터 시료(23)의 굴절률 또는 기준 샘플로부터의 굴절률 변화

를 알 수 있게 된다. 이러한 굴절률의 변화로부터 박막 시료의 두께 또는 흡착된 시료의 정량 분석 및 정성 분석이 가능해진다.

<29> 공명각 θ_{re} 를 구하기 위한 다양한 방법이 알려져 있다.

<30> 첫째, 입사광(31)에 의해 금속 박막(22)에서 SPR이 일어나면 반사광(39)의 세기(또는 반사율)가 최소인 것을 이용하여, 입사광(31)의 입사각 θ 를 변화시키면서 반사광(39)의 세기(또는 반사율)를 측정하여 얻은 그래프로부터 공명 현상이 발생할 때의 입사각 θ 즉, 공명각 θ_{re} 를 얻는 방법이 있다. 보통, 광원(30)으로서 단색광(monochromatic light), 유전매체(10)로서 고정된 굴절률 n 을 가진 프리즘을 이용하여 입사각 θ 를 변화시키기 위해 회전판(50)을 회전시키면서 반사광(39)의 세기(또는 반사율)를 측정하게 되는데, 이러한 방법을 편의상 제 1 방법이라 하겠다.

<31> 둘째, 광원(30)으로서 백색광(white light) 등 다중파장을 이용하고 입사각 θ 를 고정한 상태에서 SPR을 일으키는 파장을 찾아낸 다음, 이 파장으로부터 공명각 θ_{re} 를 알아내는 제 2 방법이 있다.

<32> 셋째, 단일파장의 광원(30)을 일정한 각도 범위로 유전매체(10)의 중심에 집속시키고, 수광부(40)로서 포토다이오드 어레이(photodiode array, PDA) 등과 같은 다중 채널의 수광소자를 채용하여, 회전판(50)을 이용함이 없이 금속 박막(22) 표면에서 역시 동일한 각도 범위로 반사되어 나오는 빛을 받아들여 공명각 θ_{re} 를 측정하는 제 3 방법이 있다(각각 미국 특허 4,889,427호, 미국 특허 5,359,681호 및 미국 특허 4,844,613호 참조).

- <33> 일반적으로 단색광을 사용하여 공명각 θ_{re} 를 측정하는 제 1 또는 제 3 방법이, 백색광을 사용하여 고정된 각도에서의 공명 파장을 측정하는 제 2 방법에 비해서 대략 10배 정도의 높은 감도를 갖고 있다. 따라서, 제 1 또는 제 3 방법을 많이 사용하며, 실제로 Biacore사와 Texas Instrument사에서 제 3 방법을 이용하여 상품화하고 있다.
- <34> 도 2는 시료의 굴절률 변화를 달리하면서 도 1의 SPR 센서를 이용하여 측정한 반사율을 입사광의 입사각에 대하여 도시한 그래프이다. 도 2에서 (1)은 시료가 물인 경우, (2)는 물로부터의 굴절률 변화가 10^{-6} 인 임의의 시료인 경우이고, (3)은 물로부터의 굴절률 변화가 10^{-3} 인 임의의 시료인 경우이다.
- <35> 도 2에서 A로 표시한 부분의 확대도를 살펴보면, 시료의 굴절률 변화에 따라서 공명각이 어떻게 변하는지를 알 수 있다. 즉, 시료가 물로부터 굴절률 변화가 10^{-6} 인 임의의 시료로 변경되었을 때 약 0.0001° 의 공명각 변화($\Delta\theta$)가 있음을 알 수 있다. 그런데, 앞의 제 1 및 제 3 방법과 같은 공명각 측정 방식의 경우, 입사각 θ 를 변화시켜 주는 제 1 방법의 회전판(50)의 각도 분해능(angle resolution)과, 일정각도 범위를 갖는 반사광을 공간적으로 분해하는 제 3 방법의 PDA와 같은 수광부(40)의 분해능의 한계는 일반적으로 약 0.0001° 이다. 따라서, 이러한 분해능을 갖는 장치를 기반으로 한 SPR 센서는 10^{-6} 미만의 굴절률 변화 또는 이에 상응하는 물리량 즉, 금속 박막 표면 1mm^2 당 수 pg 미만으로 흡착된 단백질 등은 감지하기 어려우며, 더욱이 분자량 약 200 미만인 물질의 흡착에 대해서는 현실적으로 감지가 불가능한 것으로 알려져 있다.

- <36> 만약 입사각을 임의의 각 α 로 고정된 상태에서 반사율을 측정하는 방식을 채택할 경우, 도 2에서 B로 표시한 부분의 확대도에서 볼 수 있듯이, α 가 65.0304° 일 때 시료의 굴절률 변화량 10^{-6} 에 대한 반사율의 변화(ΔR)는 0.03%에 불과하다. 일반적으로 실험에 사용되는 장비가 0.2%의 분해능력을 갖는 것을 감안할 때 오히려 공명각 측정 방법에 비하여 굴절률 측정 분해능이 떨어짐을 알 수 있다.
- <37> 한편, 이와 같은 SPR 센서의 감지 한계를 극복하기 위해 도 3에 나타낸 바와 같은 플라즈몬-도파로 공명(Coupled Plasmon-Waveguide Resonance : 이하 CPWR) 센서의 구조가 개발되었다. 도 3에서 도 1에서와 동일한 요소에 대하여는 동일한 참조부호를 부여한다.
- <38> 도 3을 참조하면, CPWR 센서는 도 1의 SPR 센서의 구조를 변형하여 감도를 향상시킨 것으로서, 금속 박막(22)과 시료(23) 사이에 유전체 박막(60)이 도포된 구조를 갖는다(미국특허 5,991,488호 참조). 유전체 박막(60)은 단층 또는 다층 구조를 가지며 도파로 역할을 하는데, 그 재질로는 SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , MgF_2 , ZnS 등의 유전체를 사용하며 두께는 400 내지 800 nm이다. 기존의 SPR 센서에서 표면 플라즈몬 파(surface plasmon wave)는 단순히 금속 박막(22)의 표면을 따라 전파되는 반면, CPWR 센서의 경우 입사광(31)이 금속 박막(22) 표면과 그 위에 도포되어 있는 유전체 박막(60) 사이에서 커플링되어 유전체 박막(60)을 따라서 전파되는 차이점을 갖고 있다. 이러한 CPWR 센서의 구조에서는 기존의 SPR 센서에서 나타난 공명각 외에 이보다 작은 각도에서 CPWR 또는 감쇄전반사(Attenuated Total Reflection : ATR) 리키(leaky) 모드가 나타난다.

<39> 도 4는 시료의 굴절률 변화를 달리하면서 도 3의 CPWR 센서를 이용하여 측정한 반사율을 입사각의 입사각에 대하여 도시한 그래프이다. 도 4에서도 도 2에서와 마찬가지로 (1)은 시료가 물인 경우, (2)는 물로부터의 굴절률 변화가 10^{-6} 인 임의의 시료인 경우이고, (3)은 물로부터의 굴절률 변화가 10^{-3} 인 임의의 시료인 경우이다.

<40> 도 4에서 볼 수 있듯이, CPWR 센서는 SPR 센서에 비해서 공명각의 범위가 좁다. 따라서, 제 1 또는 제 3 방법을 이용할 경우, 시료의 굴절률 변화에 대한 공명각 변화의 측정이 기존의 SPR 센서보다 용이해짐을 예상할 수 있다. 실제 CPWR 센서는 시료의 표면에 흡착된 단백질 양을 0.5 pg/mm^2 까지 측정할 수 있어 기존의 SPR 센서에 비해서 2 내지 4 배 정도로 향상된 측정 분해능을 보인다.

<41> 그러나, 도 4에서 A로 표시한 부분의 확대도를 살펴보면, 시료가 물로부터 굴절률 변화가 10^{-6} 인 임의의 시료로 변경되었을 때 약 0.00008° 의 공명각 변화($\Delta\theta$)가 있음을 알 수 있다. 도 3의 CPWR 센서 역시, 각도 분해능이 약 0.0001° 인 장치를 기반으로 하기 때문에 추가적인 굴절률 분해능 향상을 위해서는 기존의 회전판(50) 또는 수광부(40)로서 PDA와 같은 각도 분해가 가능한 수광장치의 분해능을 향상시켜야 하는데, 이와 같은 시도는 현재로서는 거의 불가능하며, 가능하다 하더라도 그 가격이 매우 고가로 예상되므로 실용적인 관점에서 바람직하지 못하다.

<42> 만약 입사각을 임의의 각 β 로 고정된 상태에서 반사율을 측정하는 방식을 채택할 경우, 도 4에서 B로 표시한 부분의 확대도에서 볼 수 있듯이, β 가 61.5665° 일 때 시료의 굴절률 변화량 10^{-6} 에 대한 반사율의 변화(ΔR)는 0.56%가

지 변한다. 따라서, SPR 센서보다 향상된 결과를 보인다. 이는 공명각의 범위를 좁게 함으로써 각도 변화에 대한 반사율의 변화를 극대화한다면, 다시 말해서 입사각에 대한 반사율 곡선의 기울기를 증대시킨다면 보다 더 향상된 굴절률 분해능을 얻을 수 있음을 시사하고 있는 것이다.

<43> 이론적으로는 CPWR 센서에서 유전체 박막의 두께를 얇게 함으로써 입사각에 대한 반사율 변화를 추가적으로 극대화 가능하다. 그렇지만 다음에 설명하는 바와 같은 이유로, CPWR 센서에서 유전체 박막의 두께를 감소시켜 굴절률 분해능을 향상시키는 데에는 실제적인 한계가 있다.

<44> 도 5a는 유전체 박막 두께가 서로 다른 CPWR 센서를 이용하여 측정한 반사율을 입사광의 입사각에 대하여 도시한 그래프이다. 도 5a에서 (a), (b) 및 (c)는 유전체 박막, 예를 들어 TiO_2 막의 두께가 각각 138 nm, 135 nm 및 133 nm인 경우를 나타낸다.

<45> 도 5a를 참조하면, 유전체 박막을 138 nm 이하로 얇게 도포할 경우, 반사율 측정 가능 영역이 점차 좁아져 적절한 각도 선정에 어려움이 있으며, 유전체 박막의 두께가 133 nm에 이르면 결국 반사율 곡선의 국부 기울기가 오히려 완만해진다. 따라서, 반사율 측정 방법을 사용할 경우 유전체 박막의 두께를 조절하여 굴절률 분해능을 향상시키는 데에는 한계가 있음을 알 수 있다.

<46> 한편 도 5b는 유전체 박막 두께가 서로 다른 CPWR 센서를 이용하여 측정한 흡수율을 입사광의 입사각에 대하여 도시한 그래프이다. 도 5b에서도 도 5a에서와 마찬가지로 (a), (b) 및 (c)는 유전체 박막, 예를 들어 TiO_2 막의 두께가 각각 138 nm, 135 nm 및 133 nm인 경우를 나타낸다.

<47> 도 5b를 참조하면, 흡수율의 경우 유전체 박막의 두께를 133 nm까지 감소시켜도 전체적인 흡수곡선의 형태는 유지하면서, A로 표시한 부분과 같이 국부 기울기가 극대화되는 영역이 존재한다. 따라서, 이 영역에서 시료의 굴절률 변화에 따른 흡수율 변화를 측정하면 반사율 변화를 측정하는 경우보다 향상된 굴절률 분해능을 갖는 센서를 구현할 수 있을 것이다. 그러나 기존의 CPWR 센서 구조에서는 금속 박막에 의한 입사광의 흡수율을 측정하는 것은 불가능하다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<48> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 기존의 SPR 센서 및 CPWR 센서보다 감도가 향상되어 이들 센서의 측정 한계를 극복할 수 있는 개선된 센서 및 이 센서 원리를 이용한 이미징 시스템을 제공하는 것이다.

【발명의 구성 및 작용】

<49> 상기 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명에서는 기존의 SPR 또는 CPWR 센서에서, 회전판 또는 PDA와 같은 각도 분해능을 갖춘 수광부에 의해 반사광의 반사율, 즉 반사광의 세기를 감지하여 공명각을 측정하는 방식 대신, SPR에 의해서 흡수된 입사광의 분율 즉, 흡수율(absorbance)을 측정하는 방법을 사용한다. 이를 위하여, 본 발명은 활성이온 첨가 도파로-플라즈몬 공명(Active Ion-Doped Waveguide-Plasmon Resonance : 이하 AID WPR) 센서를 제공한다. 기존의 유전체 박막 대신 활성이온 즉, 입사광을 흡수하여 흡수한 광량에 비례하여 형광을 발광할 수 있는 원소 또는 유기 염료(dye)를 함유한 유전체 박막을 사용하면 활성이온의 발광 세기의 변화로서 입사광의 흡수율을 측정할 수 있어, 결과적으로 보다

향상된 굴절률 분해능을 갖는 SPR 센서, 즉 본 발명의 고유한 AID WPR 센서 구현이 가능해진다.

<50> 구체적으로 본 발명에 따른 AID WPR 센서는, 표면 플라즈몬을 제공하는 도체 박막과 도체 박막의 일측에 도입되는 유전매체를 포함한다. 광원은 유전매체를 지나 도체 박막으로 입사하는 입사광을 발사한다. 도체 박막의 타측에는 도체 박막의 반대편으로 도입되는 시료가 부착되는 유전체 박막이 도포된다. 이 유전체 박막에는 입사광에 의해 여기되어 형광을 발광하는 활성이온이 함유되어 있다. 이에 따라 수광부는 활성이온이 발광한 형광을 수집하여 형광의 세기를 측정함으로써, 시료의 굴절률 변화를 측정하여 시료의 정량 및 정성 분석을 하거나 시료의 두께를 측정하게 된다.

<51> 수광부로서는 포토다이오드(photodiode), 광 증폭기(photomultiplier, PMT), 전하결합소자(Charge Coupled Device, CCD) 또는 감광용지를 이용할 수 있다. 특히, 도체 박막과 유전체 박막을 격자 형태의 어레이로 형성하고, 수광부로서 CCD 또는 감광용지를 이용하면 각 어레이에 대해 수집한 형광의 세기 차이로부터 얻어진 콘트라스트를 통해 시료의 이미지를 구현할 수 있는 이미징 시스템을 구축할 수 있다.

<52> 본 발명에 있어서, 유전매체는 사다리꼴 프리즘으로 구성하고, 광학 필터나 렌즈를 더 포함시킬 수 있는데, 사다리꼴 프리즘은 여러 방향으로 발광되는 형광을 수광부 쪽으로 모을 수 있게 하며, 필터는 형광의 순도가 증가되어 수광부에 수집될 수 있게 한다. 그리고, 렌즈는 형광이 집속되어 수광부에 수집될 수 있도록 한다.

<53> 활성이온은 전이 금속, 희토류 원소 및 유기 염료(dye)로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나일 수 있다. 특히, 활성이온은 2-광자 또는 3-광자 흡수(2-photon or 3-photon absorption)를 통해 입사광보다 단파장의 형광을 발광할 수 있는 것이 바람직하다. 가능한 활성이온은 Tm^{3+} , Er^{3+} , Yb^{3+} , Ho^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온, Tm^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온, Er^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온 및, Tm^{3+} 와 Nd^{3+} 의 복합 이온 등이다. 유전체 박막에 함유된 활성이온에 따라 입사광의 파장을 선택할 수 있고 이에 따라 발광되는 형광의 파장도 결정된다.

<54> 유전체 박막의 두께는 표면 플라즈마 공명 다음에 나타나는 플라즈몬-도파로 공명 및 ATR 리키(leaky) 모드가 나타날 수 있는 두께 이상일 수 있는데, 예를 들어 100 내지 700 nm일 수 있다.

<55> 이하, 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 설명한다. 그러나, 본 발명의 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래에서 상술하는 실시예들로 인해 한정되어지는 것으로 해석되어져서는 안된다. 본 발명의 실시예들은 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해서 제공되어지는 것이다. 동일한 부호는 시종 동일한 요소를 의미한다. 나아가, 도면에서의 다양한 요소와 영역은 개략적으로 그려진 것이다. 따라서, 본 발명은 첨부한 도면에 그려진 상대적인 크기나 간격에 의해 제한되어지지 않는다.

<56> 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 AID WPR 센서의 구조를 나타낸다.

<57> 도 6을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 AID WPR 센서는 표면 플라즈몬을 제공하는 도체 박막(122)과 도체 박막(122)의 일측에 도입되는 유전매체(110)

를 포함한다. 광원(130)은 유전매체(110)를 지나 도체 박막(122)으로 입사하는 입사광(131)을 발사한다. 도체 박막(122)의 타측에는 도체 박막(122)의 반대편으로 도입되는 시료(123)가 부착되는 유전체 박막(170)이 도포된다. 이 유전체 박막(170)에는 입사광(131)에 의해 여기되어 형광(139)을 발광하는 활성이온(171)이 함유되어 있다. 수광부(140)는 이 활성이온(171)이 발광한 형광(139)을 수집하여 그 세기를 측정함으로써, 시료(123)의 굴절률 변화를 측정하여 정량 분석 및 정성 분석을 하거나 그 두께를 측정하게 된다.

<58> 도체 박막(122)은 금(Au), 은(Ag), 구리(Cu), 실리콘(Si) 및 게르마늄(Ge)으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나일 수 있으며, 그 두께는 35 내지 50 nm 정도이다. 이러한 도체 박막(122)은 유리 기판(121) 하측에 도포된 상태로 본 발명의 AID WPR 센서에 집적될 수 있다. 유리 기판(121)에 약 2 내지 4 nm의 두께로 크롬(Cr)막 또는 티타늄(Ti)막(미도시)을 더 도포한 다음 도체 박막(122)을 도포하면, 유리 기판(121)에 대한 도체 박막(122)의 접착력을 증가시킬 수 있다.

<59> 이 때, 유전매체(110)는 유리 기판(121) 상측에 도입되며 그 사이에 인덱스 매칭 오일(index matching oil, 120)이 개재될 수 있다. 유전매체(110)는 여러 방향으로 발광되는 형광(139)을 수광부(140) 쪽으로 집속할 수 있도록 사다리꼴 프리즘으로 구성하는 것이 바람직하다. 유전매체(110), 인덱스 매칭 오일(120) 및 유리 기판(121)의 굴절률이 동일하게 되고, 입사광(131)은 입사각 θ 로 도체 박막(122)의 표면에 입사된다.

<60> 시료(123)는 기체, 액체 및 고체 등 모든 종류의 상(phase)을 가진 매질을 포함한다. 고체 시료인 경우에는 시료 자체가, 액체 시료인 경우에는 이를 포함하는 홀더와 시료의 순환에 필요한 펌프를 포함하는 부가적인 장치(미도시)를 더 포함하게 된다.

<61> 본 발명의 실시예에 따른 AID WPR 센서는 유전매체(110), 인덱스 매칭 오일(120) 및 유리 기판(121)을 통과하여 CPWR이 일어나는 특정 각도에서 도체 박막(122)에 입사된 입사광(131)이 유전체 박막(170)으로 커플링되어 전파되면서 유전체 박막(170)에 함유된 활성이온(171)을 여기시킴에 따라 이로부터 발광되는 형광(139)의 세기를 측정한다. 도면에는 편의상 유전매체(110)와 인덱스 매칭 오일(120)의 계면에서 형광(139)이 나오는 것으로 도시하였다. 형광(139)의 세기는 유전체 박막(170)에 부착되는 시료(123)의 종류 및 양, 굴절률 또는 두께에 따라 변화하므로, 형광(139)의 세기 변화로부터 역으로 이러한 시료(123)를 분석해 낼 수 있다.

<62> 광원(130)은 입사광으로서 TM-편광(Transverse Magnetic polarized light) 또는 TE-편광(Transverse Electric polarized light)을 발사하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 광원(130)이 광 발생 수단과 편광장치(미도시)를 포함하도록 구성하면 된다. 광원(130)은 입사광으로서 단색 평행광을 발사하도록 선택하는 것이 좋다. 이러한 단색 평행광의 대표적인 예는 레이저이다. 입사광(131)은 도체 박막(122)에 대해 고정된 입사각으로 입사하게 한다. 회전판(150)의 회전에 따라 입사각을 변화시켜 가면서 형광의 세기를 측정할 수 있다.

<63> 수광부(140)로는 포토다이오드(photodiode), 광 증폭기(photomultiplier, PMT), 전하결합소자(charge coupled device, CCD) 또는 감광용지 등이 사용될 수 있다. 형광(139)이 수광부(140)에 도달하기 전에 광학 필터(180)와 렌즈(190)를 통과하도록 하는 것이 좋다. 필터(180)를 통과한 형광(139)은 입사광(131)의 파장이 차단되어 순도가 증가되며, 렌즈(190)에서 집속되어 수광부(140)에 수집된다.

<64> 유전체 박막(170)은 SiO_2 막, Al_2O_3 막, TiO_2 막, Ta_2O_5 막, MgF_2 막, Y_2O_3 막, TeO_2 막, PbO 막, LaF_3 막, ZnS 막, ZnSe 막, Si_3N_4 막, AlN 막 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나일 수 있다. 이러한 유전체 박막(170)에 함유되는 활성이온(171)은 전이 금속, 희토류 원소 및 유기 염료로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나일 수 있다. 전이 금속, 희토류 원소 및 유기 염료와 같은 활성이온은 2-광자 또는 3-광자 흡수를 통해 상향전이를 일으켜 입사광(131)보다 단파장의 형광(139)을 발광할 수 있다. 예를 들어, 적외선 또는 적색 여기광에 대해서 이보다 단파장의 가시광선 및 UV 발광이 가능해진다.

<65> 이처럼 활성이온(171)을 함유하는 유전체 박막(170)을 상기 도체 박막(122)의 타측에 도포하는 방법은 다음과 같다. 활성이온이 희토류 원소 또는 전이 금속일 경우에는, 전자빔 진공 증착(electron-beam vacuum evaporation) 또는 열증착(thermal evaporation) 방법 등의 진공 증착 방법에 의하여 도포한다. 이 경우, 출발 물질로서 원하는 활성이온이 함유된 재료를 사용해야 하는데, 상품화되어 있는 것을 얻기가 곤란할 경우가 대부분이며 이럴 때는 솔-젤법과 고온 소결법으로 원하는 출발 물질을 만들어 사용한다. 활성이온이 유기 염료일 경우에

는 솔-젤 법과 같은 습식방법을 사용하여 딥코팅 또는 스핀 코팅법을 이용하여 도포한다.

<66> 활성이온(171)이 함유된 유전체 박막(170)의 두께를 점차 두껍게 함으로써 기존의 SPR 센서의 공명각은 높은 각도로 이동하여 마침내 측정 영역에서 사라지게 된다. 활성이온(171)이 함유된 유전체 박막(170)이 계속적으로 두께가 두꺼워지면 CPWR 혹은 ATR 리키 모드들이 나타나는데 입사광(131)의 편광성(TE-와 TM-편광)에 따라서 TE 모드 혹은 TM 모드들이 나타나고, 무편광 광원의 경우 TE 모드와 TM 모드가 교번으로(alternative) 나타난다. 따라서, 활성이온(171)이 함유된 유전체 박막(170)은 이들 모드들이 나타날 수 있는 적절한 두께로 도포되어야 하는데, 그 두께는 입사광(131)의 파장과 유전체(170)의 굴절률에도 의존하여 약 100 내지 700 nm 범위를 갖는다.

<67> 활성이온(171)으로서 선택될 수 있는 예로서의 Tm^{3+} 은, 적외선 레이저(infrared laser) 및 UV 상향전이(UV upconversion) 광원 등에서 많이 연구되어 왔으며, 최근에는 광통신 대역중 1.4 μm 대역의 광섬유 증폭기(optical fiber amplifier)용 활성이온으로서 활발한 연구 대상이 되고 있는 희토류 원소이다. 또, 활성이온(171)으로서 선택될 수 있는 다른 예로서의 Er^{3+} 는, EDFA의 활성이온으로서 광통신 분야에서 가장 많이 연구되고 있는 희토류 원소이다. 본 발명의 실시예에 따른 AID WPR 센서는 이러한 Tm^{3+} 나 Er^{3+} 이외에도 Yb^{3+} , Ho^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온, Tm^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온, Er^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온 및, Tm^{3+} 와 Nd^{3+} 의 복합 이온 등을 함유할 수 있다.

<68> 도 7은 이 중에서 Tm^{3+} 와 Er^{3+} 의 에너지 준위 및 상향전이 기구를 나타내는 도면이다. A와 B는 각각 Tm^{3+} 와 Er^{3+} 의 에너지 준위 및 상향전이 기구를 보여 준다.

<69> 도 7의 A에서 볼 수 있듯이, 제 1 단계로서 650 nm 파장의 입사광에 대해 Tm^{3+} 는 기저 준위(ground state)인 3H_6 준위에서 $^3F_{2,3}$ 준위로 여기된다. 일단 $^3F_{2,3}$ 준위로 여기된 Tm^{3+} 는 고유의 형광 수명(fluorescence lifetime)동안 이 준위에 머무르고, 복사 천이(radiative transition)와 비복사 천이(non-radiative transition) 과정을 거쳐 하위 준위인 3H_4 와 3H_5 또는 3F_4 준위에 도달하게 된다. 3H_4 와 3H_5 또는 3F_4 준위에 도달한 Tm^{3+} 는 제 2 단계로서, 다시 650 nm 파장의 입사광에 의해 1G_4 또는 1D_2 준위로 상향전이되어 1G_4 또는 1D_2 준위로부터 기저 준위인 3H_6 준위로의 자발 천이(spontaneous transition) 과정에서 각각 480 nm와 350 nm의 청색 및 UV 형광을 발광한다. 1G_4 준위의 일부 전자는 추가적인 제 3 단계로서 최인접 하위 준위인 $^3F_{2,3}$ 를 거쳐거나 직접 3H_4 준위로 천이하는데, 이 때 역시 입사광에 의해서 1D_2 준위로 여기되어 기저 준위로의 천이에 기인된 350 nm의 형광을 발광하게 된다.

<70> 제 2 단계에서는 입사광에 대해 2-광자 흡수를 거치게 된다. 따라서, 발생하는 형광의 세기는 입사광의 세기의 제곱에 비례한다. 그리고, 제 3 단계에서는 입사광에 대해 3-광자 흡수를 거치게 되므로 발생하는 형광의 세기는 입사광의 세기의 세제곱에 비례한다. 1D_2 준위에서 기저 준위로의 천이에 기인되는 350 nm의 UV 형광의 경우 입사광의 세기가 약한 경우에는 형광의 세기가 주로 제곱에 비례하지만, 입사광의 세기가 강한 영역에서는 거의 세제곱에 비례하는 의존성을

보이게 된다. 상기와 같이 입사광의 세기에 제곱 또는 세제곱에 비례하여 활성이온의 형광 세기가 변화할 경우, 도 6에서 시료(123)의 굴절률이 변화할 때 Tm^{3+} 가 함유된 유전체 박막(170) 내부를 통과하는 입사광(131)의 세기가 변하게 되고 이에 따라 Tm^{3+} 로부터 발광되는 350 nm의 상향전이 형광(139)의 세기는 입사광(131) 세기의 제곱 또는 세제곱에 비례하여 변하게 되므로, 미세한 시료의 굴절을 변화에도 현저한 형광 세기의 변화를 관찰할 수 있어, 굴절을 분해능이 향상된다.

<71> 도 7의 B에서 볼 수 있듯이, Er^{3+} 에 대해서는 800 nm의 입사광에 대해 2-광자 흡수를 거친 상향전이를 이용하여 550 nm의 가시광선 형광을 얻을 수 있다. Er^{3+} 는 800 nm의 입사광에 의해서 기저 상태에서 $4I_{9/2}$ 준위로 천이되는데, 고유 진동 주파수가 높은 대부분의 산화물 유전체에서는 다중포논완화(multiphonon relaxation) 과정에 의해서 $4I_{13/2}$ 준위로 비복사 천이된다. $4I_{13/2}$ 준위의 형광 수명은 수 ms로 매우 길어서 입사광의 2차 흡수 혹은 여기상태흡수(excited state absorption)를 통해 $4S_{3/2}$ 준위로 여기되며 곧 이어지는 기저 준위로의 복사 천이에 의해 550 nm의 형광이 발생한다.

<72> 이렇게 유전체 박막(170)에 함유된 활성이온(171)에 따라 입사광(131)의 파장을 선택할 수 있고 이에 따라 발광되는 형광(139)의 파장도 결정된다. 상기한 바와 같이, 활성이온(171)으로서 Tm^{3+} 을 함유하는 경우, 입사광의 파장은 650 nm로 선

택되며, 이에 따른 형광의 파장은 350 nm가 된다. 활성이온으로서 Er^{3+} 을 함유하는 경우에는 입사광의 파장은 800 nm로 하여 형광의 파장이 550 nm가 된다. 활성이온으로서 Yb^{3+} 을 함유하는 경우에는 입사광의 파장은 980 nm로 하여 형광의 파장이 480 nm가 된다. 그 밖에 활성이온으로서 Ho^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온, Tm^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온, Er^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온 및, Tm^{3+} 와 Nd^{3+} 의 복합 이온을 함유하는 경우에는 입사광의 파장은 각각 980 nm, 980 nm, 980nm 및 800 nm로 하여 형광의 파장은 각각 550 nm, 480 nm, 550 nm 및 480 nm가 된다.

<73> 도 8a는 시료의 굴절을 변화를 달리하면서 유전체 박막(170)으로서 막의 두께가 133 nm인 TiO_2 막을 선택하고, 이에 함유되는 활성이온(171)으로서 Tm^{3+} 를 선택한 경우에 650 nm의 입사광을 이용하여 얻은 350nm 상향전이 형광 세기를 입사광의 입사각에 대하여 도시한 그래프이고, 도 8b는 도 8a에서 A로 표시된 부분을 확대한 도면이다. 도 8a와 도 8b에서 (1)은 시료가 물인 경우, (2), (3), (4), (5), (6) 및 (7)은 물로부터의 굴절률 변화가 각각 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} 및 10^{-3} 인 임의의 시료인 경우이다. 또한, 도 8c는 입사각을 61.5245° 로 고정하고 굴절을 변화에 따른 Tm^{3+} 의 350 nm 형광 세기의 변화를 측정한 다음, 시료가 물인 경우의 형광 세기를 기준으로 하여 각 시료 (2) 내지 (7)에 대한 형광 세기의 변화율을 나타낸 것이다. 참고로, 유리 기판(121)에 약 2 nm의 두께로 티타늄막을 도포한 다음 도체 박막(122)으로서 은 재질을 선택하여 45 nm 도포하였다.

<74> 도 8c를 참조하면, 10^{-7} 의 굴절률 변화는 물론, 10^{-8} 의 굴절률 변화에 대해서도 0.8%에 이르는 형광 세기의 변화를 보이는데, 일반적인 수광부의 광 신호

분해능이 0.2% 정도이므로 본 발명에 따르면 10^{-8} 이하의 미미한 굴절을 변화도 측정이 가능함을 알 수 있다.

<75> 도 9a는 시료의 굴절을 변화를 달리하면서 유전체 박막(170)으로서 막의 두께가 183 nm인 TiO_2 막을 선택하고, 이에 함유되는 활성이온(171)으로서 Er^{3+} 를 선택한 경우에 800 nm의 입사광을 이용하여 얻은 550 nm 상향전이 형광 세기를 입사광의 입사각에 대하여 도시한 그래프이고, 도 9b는 도 9a에서 B로 표시된 부분을 확대한 도면이다. 도 9a와 도 9b에서 (1)은 시료가 물인 경우, (2), (3), (4), (5) 및 (6)은 물로부터의 굴절률 변화가 각각 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} 및 10^{-4} 인 임의의 시료인 경우이다. 도 9c는 입사각을 61.5511° 로 고정하고 굴절률 변화에 따른 Er^{3+} 의 550 nm 형광 세기의 변화를 측정한 다음, 시료가 물인 경우의 형광 세기를 기준으로 하여 각 시료 (2) 내지 (6)에 대한 형광 세기의 변화율을 나타낸 것이다. 참고로, 유리 기관(121)에 약 2 nm의 두께로 티타늄막을 도포한 다음 도체 박막(122)으로서 은 재질을 선택하여 45 nm 도포하였다.

<76> 도 9c를 참조하면, 10^{-8} 의 굴절률 변화에 대해서도 0.6%에 이르는 형광 세기의 변화를 보인다. 일반적인 수광부의 광 신호 분해능이 0.2% 정도이므로 본 발명에 따르면 10^{-8} 이하의 미미한 굴절을 변화도 측정이 가능함을 알 수 있다.

<77> 따라서, 본 실시예에 따르면 활성이온(171)이 입사광(131)에 의해 여기되어 상향전이함으로써 입사광(131)에 비해 단파장의 형광(139)을 발광하는 현상이 SPR과 복합됨으로써, 입사광(131)의 입사각 변화에 대한 활성이온(171)의 발광 세기의 변화율이 극대화된다. 이에 따라, 본 발명에 따른 센서의 감도가 기존의

SPR 센서에 비해 100배 가량 증가되므로 기존의 센서로는 측정할 수 없었던 시료의 굴절을 변화나 극미량의 흡착 물질의 정량 분석이 가능해진다.

<78> 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 AID WPR 이미징 시스템의 구조를 나타낸다. 도 10을 참조하면, 도 6의 AID WPR 센서 구조와 대체로 유사하나, 도체 박막과 유전체 박막이 격자 형태의 어레이(122a, 170a)로 되어있는 점이 다르다. 이와 같은, AID WPR 이미징 시스템은 SPR을 이용하여 도체 박막 어레이(122a)에 인접한 시료(123)의 이미지를 획득하게 한다. 그 원리는 전술한 바와 같은 본 발명의 고유한 AID WPR 센서 원리와 동일하므로 자세한 설명은 피한다. 다만, 수광부(140)로서 전하결합소자 또는 감광용지를 채택하여, 활성이온(171)이 발광한 형광을 도체 박막의 어레이(122a)별로 수집하여 형광의 세기에 따라 시료(123)의 이미지를 획득하게 된다. 즉, 도체 박막의 어레이(122a)에 대해 수집한 형광의 세기 차이로부터 얻어진 콘트라스트를 통해 시료(123)의 이미지를 구현한다.

<79> 즉, 본 발명의 실시예에 따른 AID WPR 이미징 시스템은 유전매체(110), 인텍스 매칭 오일(120) 및 유리 기판(121)을 통과하여 CPWR이 일어나는 특정 각도에서 도체 박막 어레이(122a)에 입사된 입사광(131)이 유전체 박막 어레이(170a)로 커플링되어 전파되면서 유전체 박막 어레이(170a)에 함유된 활성이온(171)을 여기시킴에 따라 이로부터 발광되는 형광(139)의 세기를 측정한다. 형광(139)의 세기는 유전체 박막 어레이(170a)에 부착되는 시료(123)의 양, 즉 그 표면의 높낮이에 따라 변화하므로, 형광(139)의 세기 변화로부터 역으로 이러한 시료(123)

의 표면의 높낮이를 분석, 이로부터 얻어진 콘트라스트를 통해 시료(123)의 이미지를 구현할 수 있다.

<80> 활성이온(171)이 입사광(131)에 의해 여기되어 상향전이함으로써 입사광(131)에 비해 단파장의 형광(139)을 발광하는 현상이 SPR과 복합되어, 입사광(131)의 입사각 변화에 대한 활성이온(171)의 발광 세기의 변화율이 극대화됨에 따라, 본 발명에 따른 이미징 시스템은 기존의 SPR 센서 원리를 이용하는 이미징 시스템에 비해 10배 내지 100배 가량 증가된 감도를 가지고 시료의 이미지 정보를 얻을 수 있다.

<81> 이상, 본 발명을 바람직한 실시예들을 들어 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예들에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 여러 가지 많은 변형이 가능함은 명백하다.

【발명의 효과】

<82> 상기의 실시예들에서 명백하게 알 수 있듯이, 본 발명이 개시하는 AID WPR 센서 및 이미징 시스템 즉, 활성이온을 첨가한 유전체 박막을 도파로로서 금속 박막 위에 추가로 도포하여, 활성이온의 전자 천이를 통한 상향전이로부터 파생되는

형광 세기를 적당한 각도에서 측정하는 방식의 센서 및 이미징 시스템은, 10^{-8} 이하의 굴절률 변화도 측정할 수 있으므로, 10^{-6} 이하의 굴절률 변화 측정이 불가능한 기존의 SPR 센서에 비해서 100배 가량 굴절률 분해능이 향상된다. 본 발명의 센서 및 이미징 시스템을 이용할 경우, 표면에 흡착된 물질의 특성 분석에 활용도가 높을 뿐 아니라, 특히 기존의 SPR 센서의 분석 한계를 극복하여 초극미량의 생체물질 분석도 가능해져 생물 및 생명공학적 응용 측면에서 혁신적인 결과를 가져올 수 있다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

표면 플라즈몬 공명(Surface Plasmon Resonance)을 이용하여 도체 박막에 인접한 시료를 분석하는 센서로서,

표면 플라즈몬을 제공하는 도체 박막;

상기 도체 박막의 일측에 도입되는 유전매체;

상기 유전매체를 지나 상기 도체 박막으로 입사하는 입사광을 발사하는 광원;

상기 입사광에 의해 여기되어 형광을 발광하는 활성이온을 함유하며, 표면 플라즈몬 파의 도파로 역할을 하도록 상기 도체 박막의 타측에 도포되고, 상기 도체 박막의 반대편으로 도입되는 시료가 부착되는 유전체 박막; 및

상기 활성이온이 발광한 형광을 수집하여 형광의 세기를 측정하는 수광부를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 2】

제 1 항에 있어서, 상기 수광부는 상기 형광의 세기로부터 상기 시료의 굴절률 변화를 측정하여 상기 시료의 정량 분석 및 정성 분석을 하거나 상기 시료의 두께를 측정하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 3】

제 1 항에 있어서, 상기 광원은 입사광으로서 TM-편광(Transverse Magnetic polarized light) 또는 TE-편광(Transverse Electric polarized light)을 발사하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 4】

제 1 항에 있어서, 상기 광원은 입사광으로서 레이저를 발사하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 5】

제 1 항에 있어서, 상기 도체 박막은 금(Au), 은(Ag), 구리(Cu), 실리콘(Si) 및 게르마늄(Ge)으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 6】

제 5 항에 있어서, 상기 도체 박막의 두께는 35 내지 50 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 7】

제 1 항에 있어서, 상기 도체 박막은 유리 기판 하측에 도포되고, 상기 유전매체는 상기 유리 기판 상측에 도입되는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 8】

제 7 항에 있어서, 상기 도체 박막의 상기 유리 기판에 대한 접착력을 증가시키도록 크롬(Cr)막 또는 티타늄(Ti)막을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 9】

제 7 항에 있어서, 상기 유리 기판과 유전매체 사이에 인덱스 매칭 오일(index matching oil)이 개재되어 있는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 10】

제 1 항에 있어서, 상기 수광부는 포토다이오드(photodiode), 광 증폭기(photomultiplier, PMT), 전하결합소자(Charge Coupled Device, CCD) 및 감광용지로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 11】

제 1 항에 있어서, 상기 유전매체는 사다리꼴 프리즘인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 12】

제 1 항에 있어서, 상기 활성이온이 발광한 형광이 순도가 증가되어 상기 수광부에 수집될 수 있도록 광학 필터를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 13】

제 1 항에 있어서, 상기 활성이온이 발광한 형광이 집속되어 상기 수광부에 수집될 수 있도록 렌즈를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 14】

제 1 항에 있어서, 상기 입사광은 상기 도체 박막에 대해 고정된 입사각으로 입사하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 15】

제 1 항에 있어서, 상기 유전체 박막은 SiO_2 막, Al_2O_3 막, TiO_2 막, Ta_2O_5 막, MgF_2 막, Y_2O_3 막, TeO_2 막, PbO 막, LaF_3 막, ZnS 막, ZnSe 막, Si_3N_4 막, AlN 막 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 16】

제 1 항에 있어서, 상기 활성이온은 전이 금속, 희토류 원소 및 유기 염료(dye)로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 17】

제 16 항에 있어서, 상기 활성이온은 2-광자 또는 3-광자 흡수(2-photon or 3-photon absorption)를 통해 상기 입사광보다 단파장의 형광을 발광할 수 있는 활성이온인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 18】

제 1 항에 있어서, 상기 활성이온은 Tm^{3+} , Er^{3+} , Yb^{3+} , Ho^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온, Tm^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온, Er^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온 및, Tm^{3+} 와 Nd^{3+} 의 복합 이온으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 19】

제 1 항에 있어서, 상기 활성이온은 Tm^{3+} 이고 상기 입사광의 파장은 650 nm로 하여 상기 형광의 파장이 350 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 20】

제 1 항에 있어서, 상기 활성이온은 Er^{3+} 이고 상기 입사광의 파장은 800 nm로 하여 상기 형광의 파장이 550 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 21】

제 1 항에 있어서, 상기 활성이온은 Yb^{3+} 이고 상기 입사광의 파장은 980 nm로 하여 상기 형광의 파장이 480 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 22】

제 1 항에 있어서, 상기 활성이온은 Ho^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온이고 상기 입사광의 파장은 980 nm로 하여 상기 형광의 파장이 550 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 23】

제 1 항에 있어서, 상기 활성이온은 Tm^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온이고 상기 입사광의 파장은 980 nm로 하여 상기 형광의 파장이 480 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 24】

제 1 항에 있어서, 상기 활성이온은 Er^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온이고 상기 입사광의 파장은 980 nm로 하여 상기 형광의 파장이 550 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 25】

제 1 항에 있어서, 상기 활성이온은 Tm^{3+} 와 Nd^{3+} 의 복합 이온이고 상기 입사광의 파장은 800 nm로 하여 상기 형광의 파장이 480 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 26】

제 1 항에 있어서, 상기 유전체 박막의 두께는 표면 플라즈마 공명 다음에 나타나는 플라즈몬-도파로 공명(Coupled Plasmon-Waveguide Resonance) 및 감쇄

전반사(attenuated total reflection) 리키(leaky) 모드가 나타날 수 있는 두께 이상인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 27】

제 1 항에 있어서, 상기 유전체 박막의 두께는 100 내지 700 nm 인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 28】

제 1 항에 있어서, 상기 시료의 상이 액체이고, 상기 시료를 포함하는 홀더와 상기 시료의 순환에 필요한 펌프를 포함하는 부가적인 장치를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 센서.

【청구항 29】

표면 플라즈몬 공명(Surface Plasmon Resonance)을 이용하여 도체 박막에 인접한 시료의 이미지를 획득하는 이미징 시스템으로서,

표면 플라즈몬을 제공하는 도체 박막 어레이;

상기 도체 박막 어레이 일측에 도입되는 유전매체;

상기 유전매체를 지나 상기 도체 박막의 어레이로 입사하는 입사광을 발사하는 광원;

상기 입사광에 의해 여기되어 형광을 발광하는 활성이온을 함유하며, 표면 플라즈몬 파의 도파로 역할을 하도록 상기 도체 박막 어레이의 타측에 도포되고, 상기 도체 박막 어레이의 반대편으로 도입되는 시료가 부착되는 유전체 박막 어레이; 및

상기 활성이온이 발광한 형광을 수집하여 상기 형광의 세기에 따라 상기 도체 박막의 어레이별로 상기 시료의 이미지를 획득하는 수광부를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 30】

제 29 항에 있어서, 상기 수광부는 전하결합소자(Charge Coupled Device, CCD) 또는 감광용지인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 31】

제 29 항에 있어서, 상기 광원은 입사광으로서 TM-편광(Transverse Magnetic polarized light) 또는 TE-편광(Transverse Electric polarized light)을 발사하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 32】

제 29 항에 있어서, 상기 광원은 입사광으로서 레이저를 발사하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 33】

제 29 항에 있어서, 상기 도체 박막 어레이는 금(Au), 은(Ag), 구리(Cu), 실리콘(Si) 및 게르마늄(Ge)으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 34】

제 33 항에 있어서, 상기 도체 박막 어레이의 두께는 35 ~ 50 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 35】

제 29항에 있어서, 상기 도체 박막 어레이는 유리 기판 하측에 도포되고, 상기 유전매체는 상기 유리 기판 상측에 도입되는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 36】

제 35 항에 있어서, 상기 도체 박막 어레이의 상기 유리 기판에 대한 접착력을 증가시키도록 크롬(Cr)막 또는 티타늄(Ti)막을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 37】

제 35 항에 있어서, 상기 유리 기판과 유전매체 사이에 인덱스 매칭 오일(index matching oil)이 개재되어 있는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 38】

제 29 항에 있어서, 상기 유전매체는 사다리꼴 프리즘인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 39】

제 29 항에 있어서, 상기 활성이온이 발광한 형광이 순도가 증가되어 상기 수광부에 수집될 수 있도록 광학 필터를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 40】

제 29 항에 있어서, 상기 활성이온이 발광한 형광이 집속되어 상기 수광부에 수집될 수 있도록 렌즈를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 41】

제 29 항에 있어서, 상기 입사광은 상기 도체 박막 어레이에 대해 고정된 입사각으로 입사하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 42】

제 29 항에 있어서, 상기 유전체 박막 어레이는 SiO_2 막, Al_2O_3 막, TiO_2 막, Ta_2O_5 막, MgF_2 막, Y_2O_3 막, TeO_2 막, PbO 막, LaF_3 막, ZnS 막, ZnSe 막, Si_3N_4 막, AlN 막 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 43】

제 29 항에 있어서, 상기 활성이온은 전이 금속, 희토류 원소 및 유기 염료(dye)로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 44】

제 43 항에 있어서, 상기 활성이온은 2-광자 또는 3-광자 흡수(2-photon or 3-photon absorption)를 통해 상기 입사광보다 단파장의 형광을 발광할 수 있는 활성이온인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 45】

제 29 항에 있어서, 상기 활성이온은 Tm^{3+} , Er^{3+} , Yb^{3+} , Ho^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온, Tm^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온, Er^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온 및, Tm^{3+} 와 Nd^{3+} 의 복합 이온으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 46】

제 29 항에 있어서, 상기 활성이온은 Tm^{3+} 이고 상기 입사광의 파장은 650 nm로 하여 상기 형광의 파장이 350 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 47】

제 29 항에 있어서, 상기 활성이온은 Er^{3+} 이고 상기 입사광의 파장은 800 nm로 하여 상기 형광의 파장이 550 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 48】

제 29 항에 있어서, 상기 활성이온은 Yb^{3+} 이고 상기 입사광의 파장은 980 nm로 하여 상기 형광의 파장이 480 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 49】

제 29 항에 있어서, 상기 활성이온은 Ho^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온이고 상기 입사광의 파장은 980 nm로 하여 상기 형광의 파장이 550 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 50】

제 29 항에 있어서, 상기 활성이온은 Tm^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온이고 상기 입사광의 파장은 980 nm로 하여 상기 형광의 파장이 480 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 51】

제 29 항에 있어서, 상기 활성이온은 Er^{3+} 와 Yb^{3+} 의 복합 이온이고 상기 입사광의 파장은 980 nm로 하여 상기 형광의 파장이 550 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 52】

제 29 항에 있어서, 상기 활성이온은 Tm^{3+} 와 Nd^{3+} 의 복합 이온이고 상기 입사광의 파장은 800 nm로 하여 상기 형광의 파장이 480 nm인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 53】

제 29 항에 있어서, 상기 유전체 박막의 두께는 표면 플라즈마 공명 다음에 나타나는 플라즈몬-도파로 공명(Coupled Plasmon-Waveguide Resonance) 및 감쇄

전반사(attenuated total reflection) 리키(leaky) 모드가 나타날 수 있는 두께 이상인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 54】

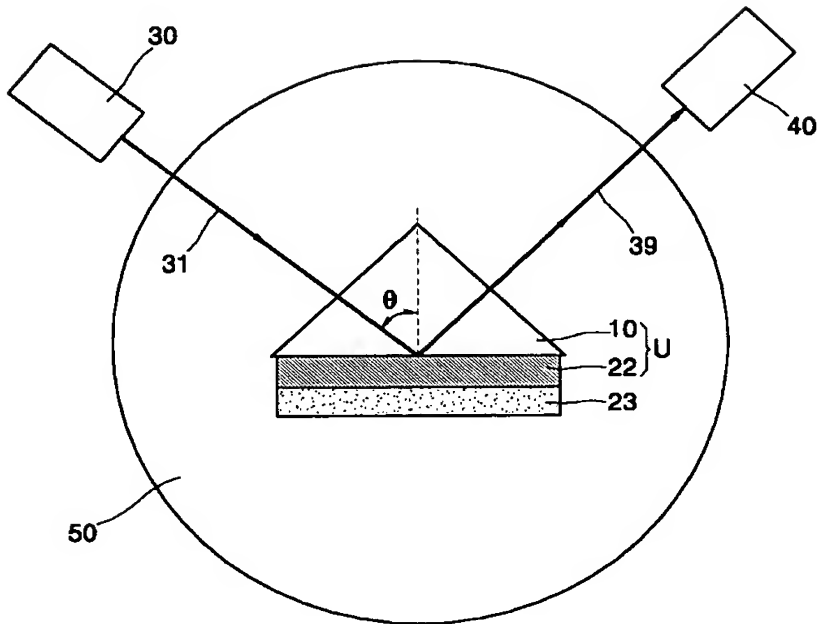
제 29 항에 있어서, 상기 유전체 박막의 두께는 100 내지 700 nm 인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【청구항 55】

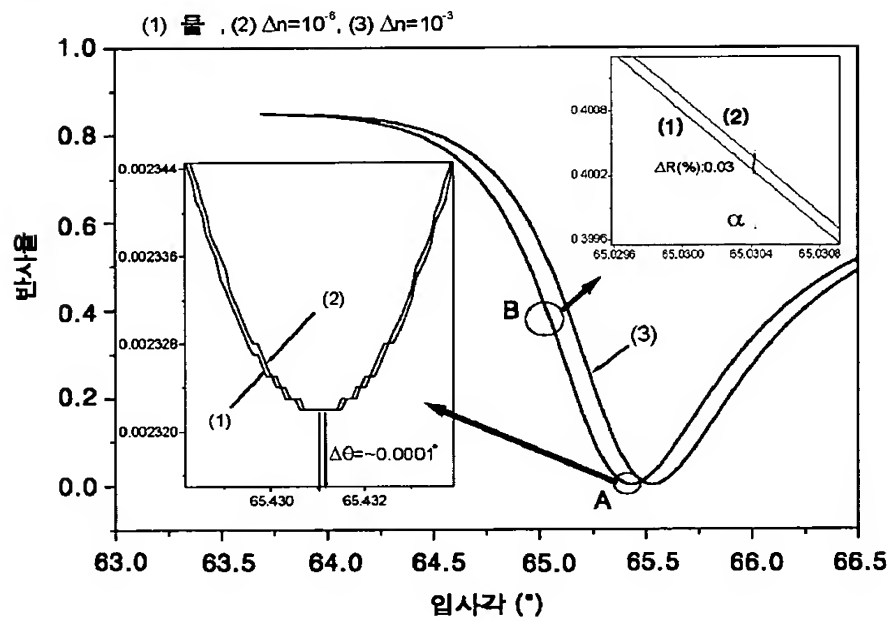
제 29 항에 있어서, 상기 시료의 상이 액체이고, 상기 시료를 포함하는 홀더와 상기 시료의 순환에 필요한 펌프를 포함하는 부가적인 장치를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공명 이미징 시스템.

【도면】

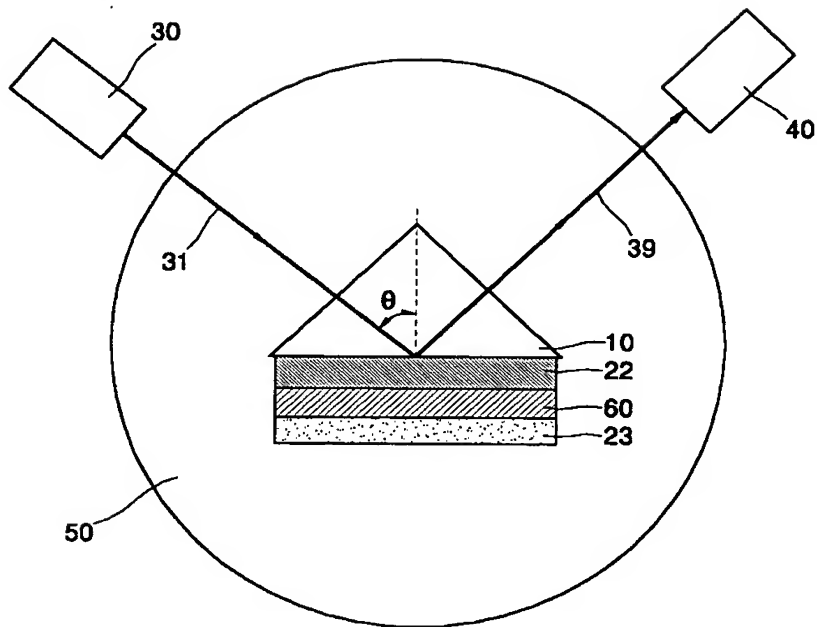
【도 1】



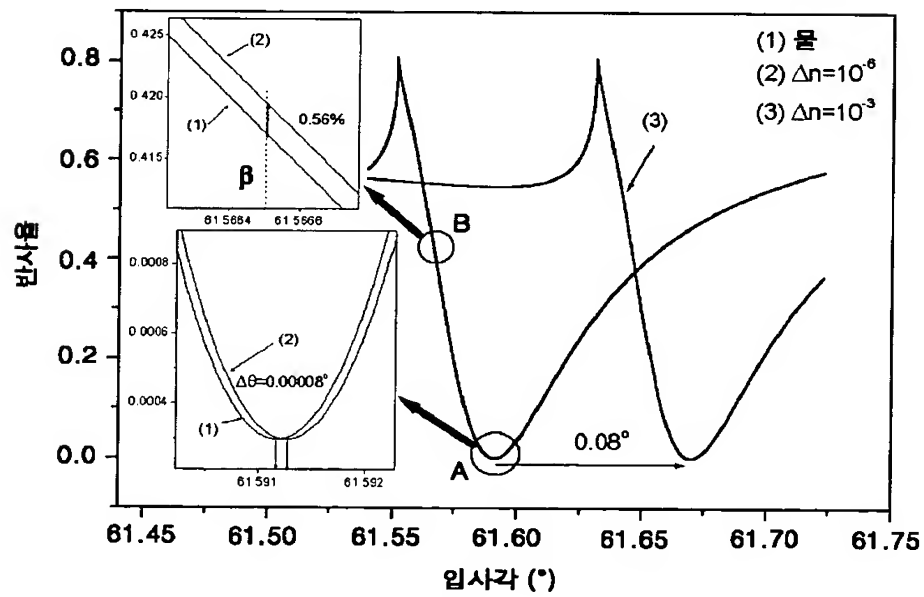
【도 2】



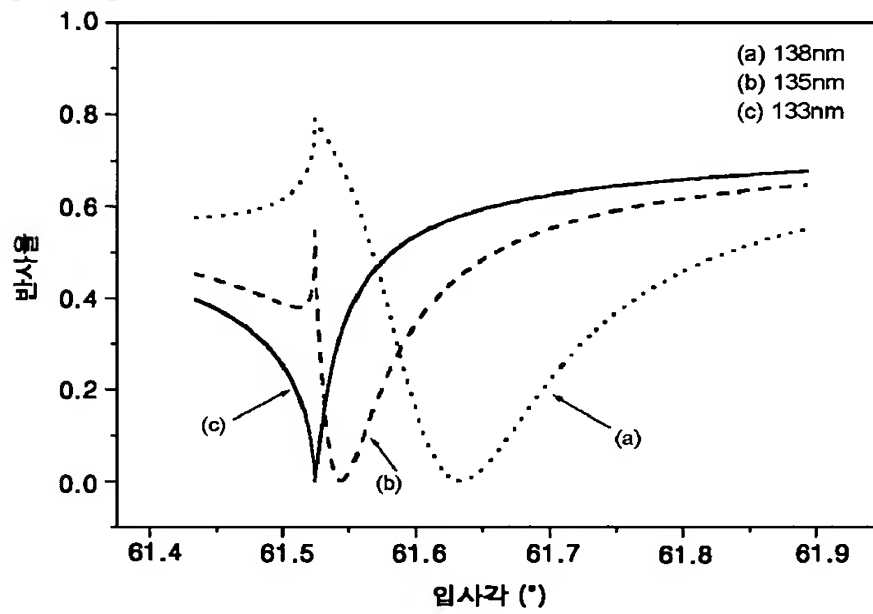
【도 3】



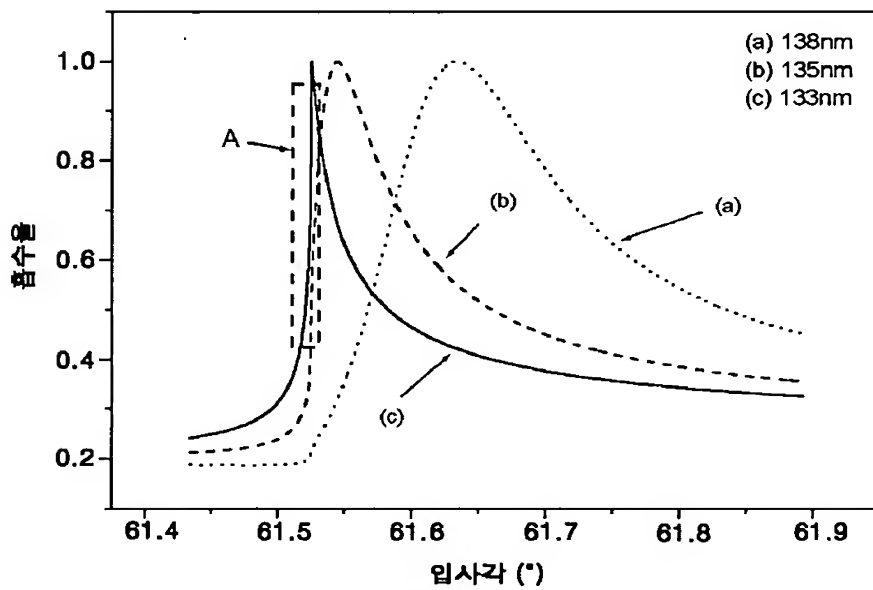
【도 4】



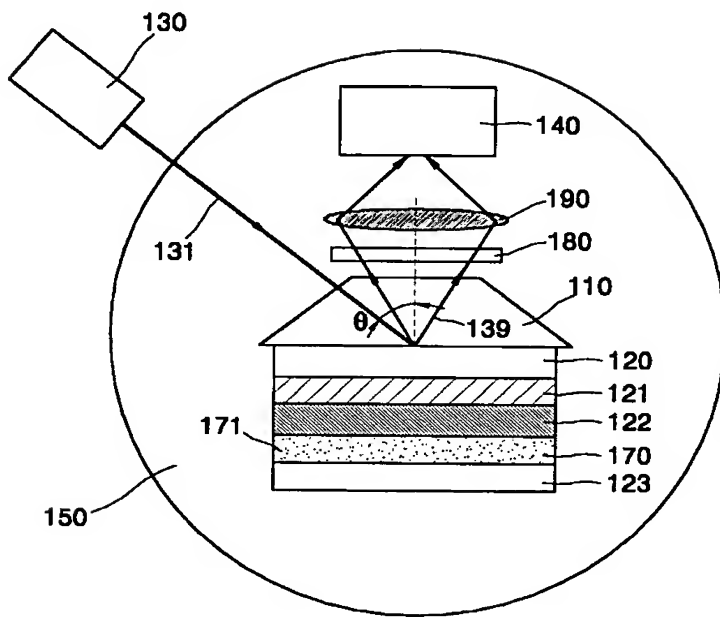
【도 5a】



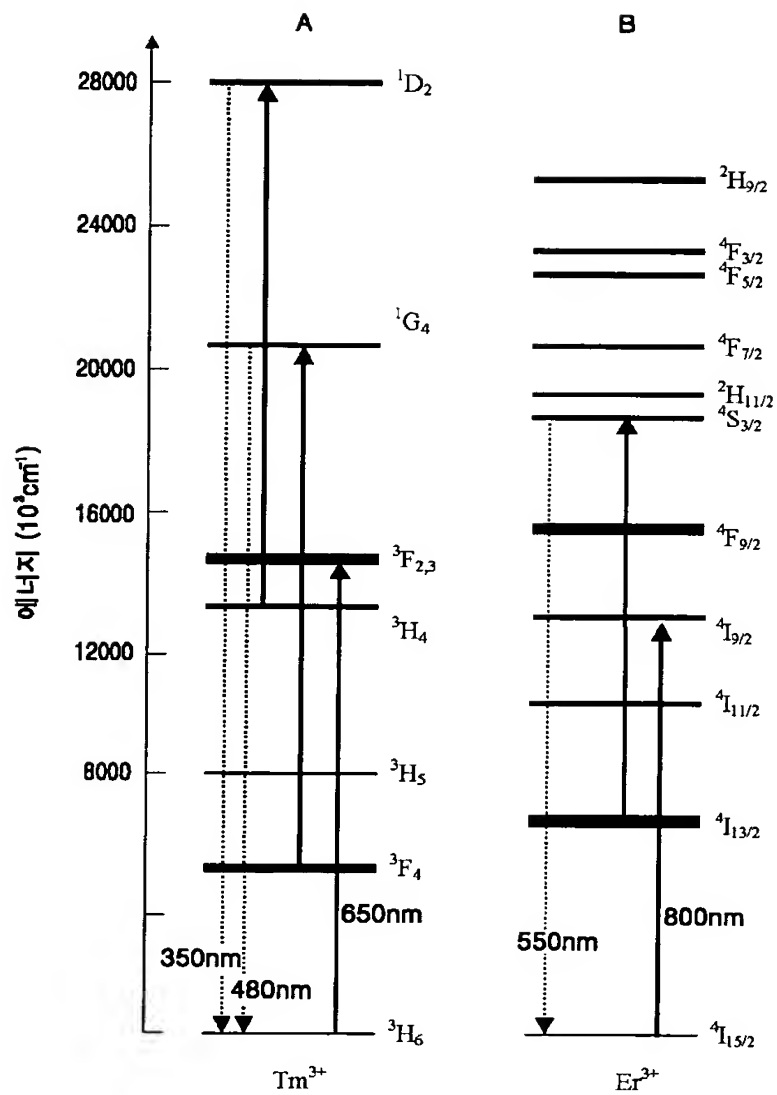
【도 5b】



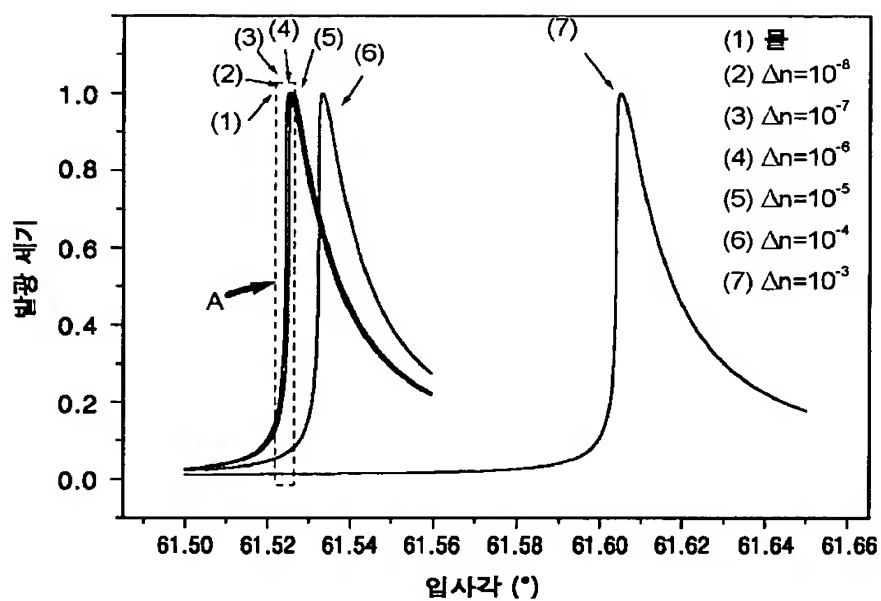
【도 6】



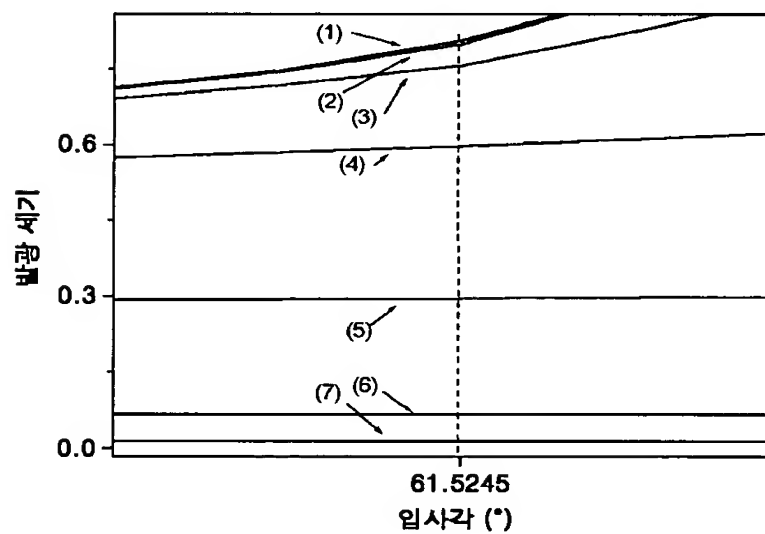
【도 7】



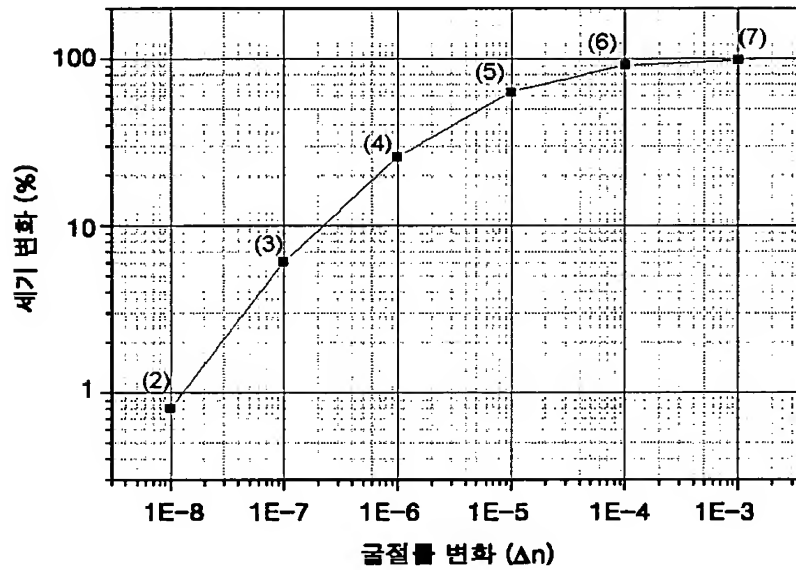
【도 8a】



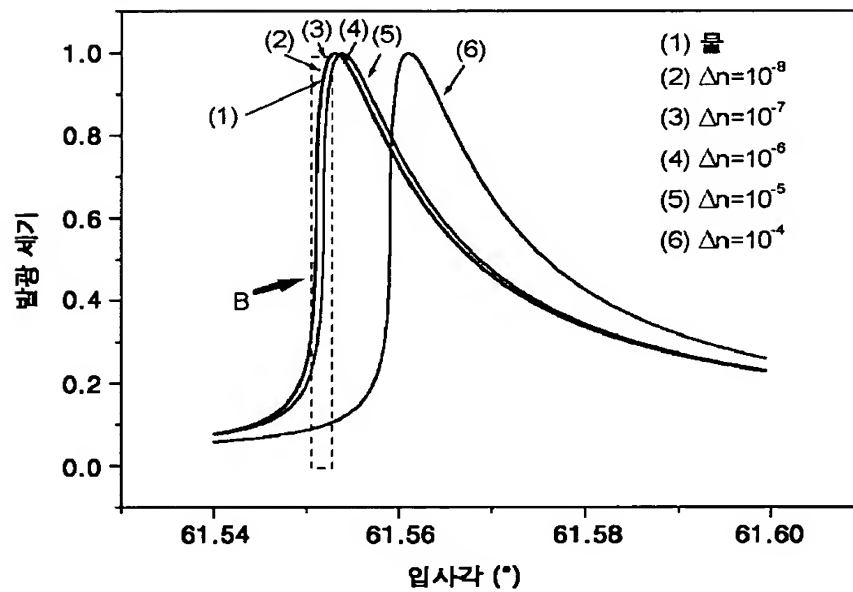
【도 8b】



【도 8c】

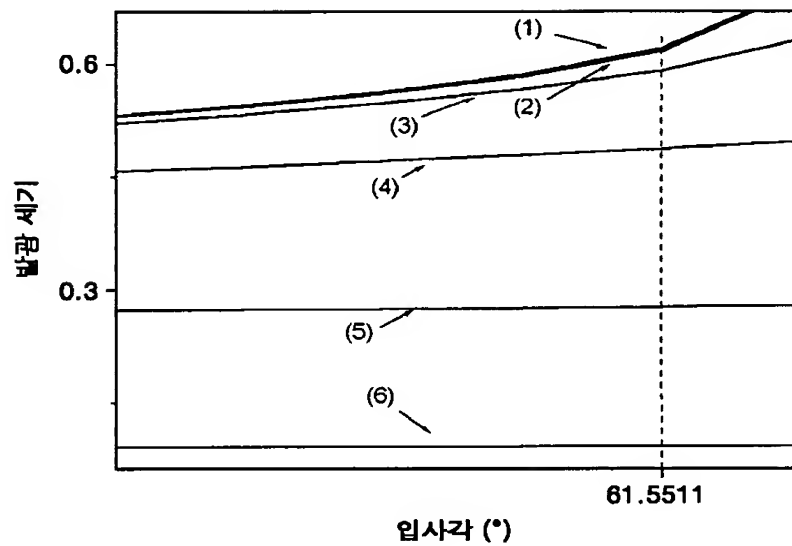


【도 9a】

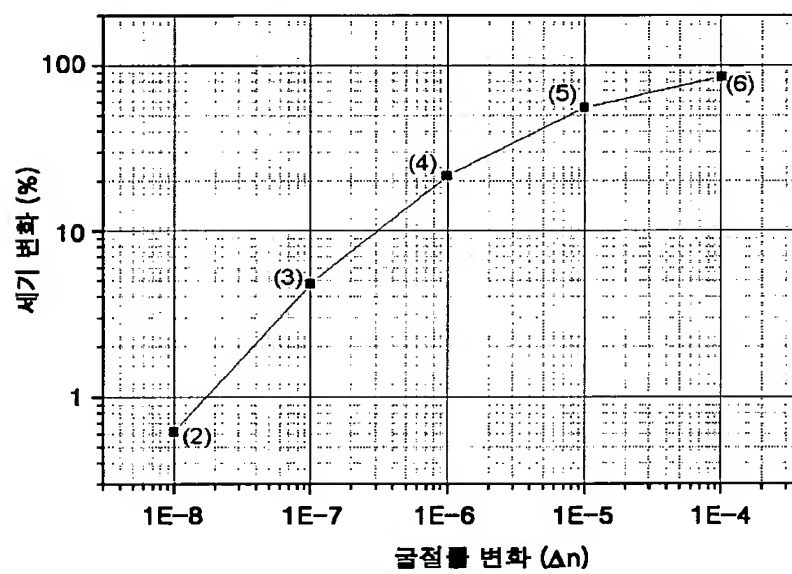




【도 9b】



【도 9c】



【도 10】

